

## **Elektrische Schaltung zum Treiben einer Last**

Die Erfindung betrifft eine elektrische Schaltung zum Treiben einer Last.

Sofern elektrische oder elektromechanische Systeme eine Stromvermessung erfordern, wird diese üblicherweise so durchgeführt, dass der zu messende Strom über einen Shunt-Widerstand geführt wird. Der dabei entstehende Spannungsabfall kann messtechnisch ermittelt und bei bekanntem Widerstandswert in einen Strom umgerechnet werden. Erforderlich ist also die genaue Kenntnis des Widerstandswerts des Shunt-Widerstands. Shunt-Widerstände sind jedoch kostenintensiv und unterliegen relativ hohen Fertigungstoleranzen. Zu dem sind oftmals Montageprobleme zu lösen. Schließlich ist der Widerstandswert eines Shunt-Widerstands temperaturabhängig.

Von daher ist es von Vorteil, wenn man für die Stromvermessung in einem elektrischen oder elektromechanischen System den Spannungsabfall über einem in diesem System vorhandenen Bauelement nutzen kann. Diesbezüglich gilt es aber zu bedenken, dass der Widerstandswert eines derartigen Bauteils innerhalb eines an sich bekannten Widerstandswertbereichs liegen kann. Von daher ist es also erforderlich, den Widerstandswert des Bauelements vor Aufnahme der bestimmungsgemäßen Nutzung des elektrischen oder elektromechanischen Systems zu bestimmen, wobei der einzig bekannte Parameter darin zu sehen ist, dass der mögliche Minimal- und der mögliche Maximalwert für den Widerstand des betreffenden elektrischen Bauelements bekannt ist.

Eine Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine elektrische Schaltung mit einer Vorrichtung zur Bestimmung des Widerstandswerts eines Transistors dieser Schaltung und der zur ordnungsgemäßen Funktionsweise der Schaltung benötigt wird. elektrischen Bauelements anzugeben, von dem lediglich der maximal mögliche und der minimal mögliche Widerstandswert bekannt sind.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird mit der Erfindung eine elektrische Schaltung mit einem Transistor vorgeschlagen, dessen Widerstandswert zwischen einem bekannten Maximal- und einem bekannten Minimalwert liegt, und zwar mit Hilfe einer Messbrücke.

Es handelt sich hierbei um eine Vorrichtung zur Bestimmung des Widerstandswert  $R_x$  eines Transistors, dessen Widerstandswert  $R_x$  zwischen einem bekannten Maximalwert  $R_{xMAX}$  und einem bekannten Minimalwert  $R_{xMIN}$  liegt, mit Hilfe einer Messbrücke, in deren ersten Brückenweig der Transistor und ein bekannter Referenzwiderstand  $R_R$  geschaltet sind und in deren zweiten Brückenweig drei jeweils bekannte Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  geschaltet sind, wobei der erste Brückenweig einen Widerstandsverbindungspunkt  $K_1$  zwischen dem Referenzwiderstand  $R_R$  und dem Transistor aufweist und der zweite Brückenweig einen ersten Widerstandsverbindungspunkt  $K_2$  zwischen dem mit dem Transistor verbundenen ersten Widerstand  $R_1$  und dem zweiten Widerstand  $R_2$  sowie einen zweiten Widerstandsverbindungspunkt  $K_3$  zwischen dem zweiten Widerstand  $R_2$  und dem mit dem Referenzwiderstand verbundenen dritten Widerstand  $R_3$  aufweist und wobei die Werte des Referenzwiderstandes  $R_R$  des ersten Brückenweiges und der drei Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  des zweiten Brückenweiges derart gewählt sind, dass (i) das Potential des Widerstandsverbindungspunkt  $K_1$  des ersten Brückenweiges gleich dem Potential des ersten Widerstandsverbindungspunktes  $K_2$  des zweiten Brückenweiges ist, wenn der Transistor seinen Minimalwiderstandswert  $R_{xMIN}$  aufweist, und (ii) das Potential des Widerstandsverbindungspunktes  $K_1$  des ersten Brückenweiges gleich dem Potential des zweiten Widerstandsverbindungspunktes  $K_3$  des zweiten Brückenweiges ist, wenn der Transistor seinen Maximalwiderstandswert  $R_{xMAX}$  aufweist, wobei

- durch beide Brückenweige der Messbrücke ein Messstrom  $I_T$  fließt, und
- anhand der Verhältnisse der Differenzspannungen zwischen den Widerstandsverbindungspunkten  $K_1, K_2, K_3$ , anhand des Minimalwiderstandswertes  $R_{xMIN}$  und anhand des

Maximalwiderstandswertes  $R_{XMAX}$  der aktuelle Widerstandswert  $R_X$  des Transistors ermittelt wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Schaltung sind jeweils in den Unteransprüchen 2 bis 9 angegeben.

Bei der erfindungsgemäßen Bestimmung des Widerstandswerts eines Transistors wird eine Messbrücke eingesetzt, deren Aufbau ähnlich dem einer Wheatstonschen Messbrücke (siehe z.B. US-A-3 150 315, US-A- 3 227 953, EP-A- 0 215 190 und DE-C-943 072) ist, jedoch mit der Ausnahme, dass keiner der Widerstände veränderbar ist. In dem ersten der beiden Brückenarme dieser Messbrücke befindet sich neben dem Transistor, dessen Widerstand bestimmt werden soll, ein bekannter Referenzwiderstand. Im zweiten Brückenarm der Messbrücke befindet sich eine Reihenschaltung von drei bekannten Widerständen. Die Werte der bekannten Widerstände der Messbrücke werden so, wie oben beschrieben, festgelegt. Die erfindungsgemäße Messbrücke ist in Fig. 1 wiedergegeben. Vom zu bestimmenden Widerstand  $R_X$  ist lediglich bekannt, dass dieser zwischen  $R_{XMIN}$  und  $R_{XMAX}$  liegt. Nachdem der Referenzwiderstand  $R_R$  des ersten Brückenarmes und einer der drei Widerstände des zweiten Brückenarmes, in diesem Fall der Widerstand  $R_3$  vorgegeben worden sind, lassen sich die Werte für die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  aus den nachfolgend genannten beiden Gleichungen errechnen:

$$R_{XMAX} / (R_R + R_{XMAX}) = (R_1 + R_2) / (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$R_{XMIN} / (R_R + R_{XMIN}) = R_1 / (R_1 + R_2 + R_3)$$

Eine derart dimensionierte Messbrücke lässt sich nun beim Einprägen eines Teststroms  $I_T$  dazu verwenden, den Widerstandswert von  $R_X$ , also den Widerstandswerts eines Transistors zu bestimmen. Dazu werden die Differenzspannungen zwischen den Knotenpunkten  $K_1$  und  $K_2$ ,  $K_1$  und  $K_3$  bzw.

$K_2$  und  $K_3$  messtechnisch ermittelt. Zwei dieser Differenzspannungen müssen ermittelt werden, um daraus den Widerstandswert von  $R_x$  ermitteln zu können (zum Beispiel gemäß Dreisatz).

Ist beispielsweise die Spannungsdifferenz zwischen den Knotenpunkten  $K_1$  und  $K_2$  gleich 0 Volt, so ist der Wert des Widerstandes  $R_x$  gleich seinem Minimalwert. Ist dagegen die Differenzspannung zwischen den Knotenpunkten  $K_1$  und  $K_3$  gleich 0 Volt, so ist der Wert des Widerstandes  $R_x$  gleich dem Maximalwert. Bei Differenzspannungswerten zwischen den Knotenpunkten  $K_1$  und  $K_2$  bzw.  $K_1$  und  $K_3$  von ungleich 0 Volt, ist der Wert des Widerstandes  $R_x$  gleich dem entsprechenden Prozentualanteil des Maximal- bzw. Minimalwerts.

Auf die oben beschriebene Weise lässt sich also der Wert des Widerstandes  $R_x$ , das heißt der Widerstandswert eines Transistors messtechnisch bestimmen, wenn von dem Transistor lediglich bekannt ist, dass sein Widerstandswert zwischen einem bekannten Maximal- und einem bekannten Minimalwert liegt.

Durch die Erfindung ist es also möglich, für eine Strommessung innerhalb eines elektrischen oder elektronischen bzw. elektromechanischen Systems als Shunt-Widerstand einen Transistor dieses Systems zu nutzen, von dem lediglich der maximal zulässige Widerstandswertebereich bekannt ist. Bei dem damit verwendbaren Transistor kann es sich dann also beispielsweise um einen Verpolschutztransistor oder auch einen eine Last schaltenden Transistor (Highside- bzw. Lowside-Schalter) handeln, von dem der Minimal- und der Maximalwert des EIN-Widerstandes bekannt ist. Aber auch jeder andere einen Ohmschen Anteil aufweisende Transistor, das heißt auch ein Widerstand ist als zu vermessender Transistor verwendbar.

Im Regelfall ist der erfindungsgemäß als Ersatz für einen Shunt-Widerstand verwendbare Transistor, wie beispielsweise ein Verpolschutztransistor oder ein eine Last schaltender Transistor, temperaturabhängig, was seinen EIN-Widerstand angeht. Es ist daher zweckmäßig, die zuvor beschriebene erfindungsgemäße Kalibrierung dann durchzuführen, wenn sich die Temperatur

des als Shunt-Widerstand verwendeten Transistors verändert. Die Temperaturermittlung kann messtechnisch durch einen Temperatursensor erfolgen. Alternativ ist es aber auch möglich, anhand der elektrischen Belastungen, insbesondere anhand des den Transistor durchfließenden Stromes, auf die thermische Belastung und damit auf die Erwärmung des Transistors rückzuschließen. Eine weitere Möglichkeit der Widerstandsbestimmung des temperaturabhängigen Transistors besteht darin, dass Kalibrierverfahren zyklisch nach Ablauf jeweils einer Zeitspanne durchzuführen, d.h. den zu bestimmenden Widerstandswert jeweils aktuell zu bestimmen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Im Einzelnen zeigen:

Fig. 1 die nach der Erfindung vorgesehene Widerstands-Messbrücke und

Fig.2 bis 4 unterschiedliche Varianten einer erfindungsgemäßen Schaltung zur Vermessung der Ohmschen Widerstände von Transistoren der Schaltung bzw. eines Widerstandes der Schaltung, die während der Applikation der Strommessung dienen.

Ein erstes Ausführungsbeispiel eines elektrischen bzw. elektromechanischen Systems 10, bei dem für die Strommessung im Betrieb ein Transistor des Systems 10, in diesem Fall ein Verpolschutztransistor verwendet wird, der zuvor erfindungsgemäß vermessen worden ist, ist in Fig. 2 dargestellt. Das System 10 umfasst eine elektrische Schaltung, mit der in diesem Ausführungsbeispiel Highside- und Lowside-Schalter 12, 14 angesteuert werden, die ihrerseits eine Last 16 treiben. Die Highside- und Lowside-Schalter 12, 14 werden über eine Steuereinheit 18 angesteuert. Im Energieversorgungspfad des Laststromkreises 20 befindet sich ein Verpolschutztransistor 22, von dem in Fig. 2 das Ersatzschaltbild bestehend aus einem Schalter 24, einem EIN-Widerstand 26 und einer zu beiden parallel

geschalteten Diode 28 dargestellt ist. Auch der Verpolschutztransistor 22 wird über die Steuereinheit 18 angesteuert.

Erfindungsgemäß wird nun dieser Verpolschutztransistor 22 bzw. genauer gesagt sein EIN-Widerstand 26 (nachfolgend auch mit  $R_x$  bezeichnet) für die Strommessung verwendet. Dazu wird von einem Strommessverstärker 30 der Spannungsabfall über dem EIN-Widerstand  $R_x$  erfasst und mittels eines mit dem Ausgang des Verstärkers 30 verbundenen A/D-Wandlers 32 der Steuereinheit 18 zugeführt. Bei bekanntem Wert für den EIN-Widerstand  $R_x$  kann dann anhand des gemessenen Spannungsabfalls der Strom errechnet werden. Während der Applikation verbindet also der Schalter 34 zwischen dem Strommessverstärker 30 und dem A/D-Wandler 32 beide Einheiten (siehe gestrichelte Linie in Fig. 2).

Der Schaltzustand des Schalters 34 wird ebenfalls über die Steuereinheit gesteuert, was in Fig.2 jedoch nicht dargestellt ist. Um nun den EIN-Widerstand  $R_x$ , dessen Minimalwert und dessen Maximalwert bekannt sind, dessen exakter Wert jedoch unbekannt ist, vermessen zu können, ist die zuvor beschriebene Schaltung des Systems 10 um die nachfolgend aufgeführten Bauteile und Schaltungskomponenten ergänzt. Hier ist zunächst einmal die Einbindung des Verpolschutztransistors 22 in eine abgewandelte Widerstandsmessbrücke 36 zu nennen. Dabei ist in Reihe mit dem EIN-Widerstand  $R_x$  ein Referenzwiderstand  $R_R$  geschaltet. Parallel zu dieser Reihenschaltung aus Referenzwiderstand  $R_R$  und Verpolschutztransistors 22 geschaltet ist eine weitere Widerstandsreihenschaltung, die die drei Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3$  umfasst. Der erste Brückenweig der Messbrücke 36 umfasst also den Referenzwiderstand  $R_R$  und den Verpolschutztransistor 22, während der zweite Brückenweig 40 die drei Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3$  umfasst. Zwischen den einzelnen Widerständen ergeben sich dann die Knoten- bzw. Widerstandsverbindungspunkte  $K_1$ ,  $K_2$  und  $K_3$ .

Zur Einprägung eines Mess- bzw. Kalibrierstroms in die Messbrücke 36 dient die Einheit 42, die entweder als Stromquelle 44 ausgebildet ist oder einen

Schalter 46 aufweist, bei dessen Schließen über einen Widerstand 48 Strom in die Messbrücke 36 eingeprägt wird. Die Aktivierung des Kalibrierstroms erfolgt durch die Steuereinheit 18.

Darüber hinaus bedarf es für die Vermessung des EIN-Widerstandes  $R_x$  noch eines Differenzverstärkers 50, der über einen vorgeschalteten Multiplexer 52 wahlweise die Differenzspannungen zwischen den Widerstandsverbindungspunkten  $K_1$  und  $K_2$ ,  $K_1$  und  $K_3$  bzw.  $K_2$  und  $K_3$  ermittelt. Das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 50 wird der Steuereinheit 18 über den A/D-Wandler 32 zugeführt. Hierfür nimmt der Schalter 34 seine in Figur 2 in durchgezogener Linie dargestellte Schaltposition an.

Die Fig. 3 und 4 zeigen zwei zum System 10 gemäß Fig. 2 alternative Konzepte, bei denen gemäß Fig. 3 ein Lowside-Schalter als Shunt-Widerstand für die Strommessung und in Fig. 4 ein Ohmscher Widerstand als Shunt-Widerstand verwendet wird. Der grundsätzliche Aufbau dieser beiden Alternativsysteme 10' und 10'' ist jedoch der gleiche wie anhand von Fig. 2 beschrieben.

Für sämtliche Varianten gilt bezüglich der Dimensionierung der noch festzulegenden Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  und  $R_R$  der Widerstandsmessbrücke 36 unter Bezugnahme auf das im Zusammenhang mit der Beschreibung von Fig. 1 gesagte Folgendes.

Die einzigen festliegenden Größen der Widerstandsmessbrücke 36 sind der Maximal- und der Minimalwert  $R_{XMAX}$  und  $R_{XMIN}$  des Widerstandes  $R_x$ .

Zunächst werden nun der Widerstandswert für den Widerstand  $R_R$  sowie der Kalibrierstrom festgelegt. Beide Parameter sind so zu wählen, dass sich die während der Kalibration ergebende Spannung am Widerstandsverbindungspunkt  $K_3$  am oberen Rand des durch den Differenzverstärker 50 verarbeitbaren Spannungsbereich befindet.

Danach wird die Summe der Widerstände ( $R_1 + R_2 + R_3$ ) festgelegt. Diese Summe kann durchaus recht hochohmig sein, wobei wichtig ist, dass Eingangsströme des Strommessverstärkers 30 vernachlässigbar bleiben.

Die Berechnung der Werte für die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  erfolgt dann durch Auflösung der zuvor genannten Gleichungen, wobei gilt:

$$R_1 = R_{XMIN} \times (R_1 + R_2 + R_3) / (R_R + R_{XMIN})$$

$$R_2 = R_{XMAX} \times (R_1 + R_2 + R_3) / (R_R + R_{XMAX}) - R_1$$

$$R_3 = (R_1 + R_2 + R_3) - R_1 - R_2$$

Nachdem auf die zuvor beschriebene Weise die Dimensionierung der Widerstände der Messbrücke 36 erfolgt ist, wird nun die Vermessung des Widerstandes  $R_x$  durchgeführt.

Hierzu wird ein Kalibrierstrom  $I_T$  in die Widerstandsmessbrücke 36 eingepreßt. Dies erfolgt alternativ entweder durch Schließen des Schalters 46, wodurch über den Referenzwiderstand  $R_R$  und den Verpolschutztransistor 22 (Fig. 2) ein definierter Kalibrierstrom fließt. Alternativ kann der Kalibrierstrom auch mittels einer Stromquelle 44 der Einheit 42 erzeugt werden. Ein vernachlässigbar geringer Anteil des Kalibrierstroms wird über den zweiten Brückenweig 40 der Messbrücke 36 geführt. Dieser zweite Brückenweig 40 generiert die Minimal- und Maximalreferenzen des zu vermessenden Widerstandes  $R_x$ , wie oben erläutert ist.

Über den Differenzverstärker 50 mit schaltbarem Eingangs-Multiplexer 52 können nun folgende vier Messungen durchgeführt werden:

- a)  $\Delta U(K_1 - K_2)$
- b)  $\Delta U(K_3 - K_1)$
- c)  $\Delta U(K_3 - K_2)$



d)  $\Delta U(K_1 - K_1)$  zum Offset-Abgleich

Varianten d.1) Offsets können direkt mit der Messtechnik ermittelt werden, sofern der Differenzverstärker 50 und der A/D-Wandler 32 negative wie positive Spannungsdifferenzen verarbeiten können

d.2) Der Differenzverstärker 50 erhält designseitig einen typisch positiven Offset (damit ist dieser immer messbar, auch bei nur unipolar arbeitendem A/D-Wandler 32)

Zur Minimierung von Fehlern durch Nichtlinearitäten des Differenzverstärkers 50 und des A/D-Wandlers 32 (insbesondere im Bereich kleiner Eingangsspannungen) sollten zweckmäßigerweise folgende Verfahren angewendet werden:

1. Es werden alle vier möglichen Messungen 3)a bis 3d) durchgeführt.
2. Von allen vier Messwerten wird der Offset  $\Delta U(K_1 - K_1)$  subtrahiert.
3. Es wird ermittelt, welcher der beiden Messwerte a) oder b) der größere ist.
4. Mit diesem größeren Wert wird per Dreisatz ermittelt, bei wieviel Prozent zwischen unterer Referenz ( $K_2$ ) und oberer Referenz ( $K_3$ ) die Spannung an  $K_1$  gemessen wurde.

4.a) Wenn  $\Delta U(K_3 - K_1) > \Delta U(K_1 - K_2)$   
#  $\Delta U \% = 100 \times \Delta U(K_3 - K_2) - \Delta U(K_3 - K_1) / \Delta U(K_3 - K_2)$

4.b) Wenn  $\Delta U(K_3 - K_1) < \Delta U(K_1 - K_2)$   
#  $\Delta U \% = 100 \times \Delta U(K_1 - K_2) / \Delta U(K_3 - K_2)$

Die absoluten Spannungen, bezogen auf VSS-Potential, sind hierbei unwichtig. Daher ist weder ein exakter Kalibrierstrom noch ein exakter

Verstärkungsfaktor notwendig. Beide Parameter müssen nur über die drei Messungen hinweg konstant bleiben.

5. Aus der prozentualen Angabe  $\Delta U$  % lässt sich nun ebenfalls per Dreisatz der zu bestimmende Widerstand  $R_x$  errechnen. Im Spannungsteiler entspricht das Verhältnis der Widerstandswerte dem Verhältnis der an den Widerständen abfallenden Spannungen. Es gilt also:

$$R_x = R_{xMIN} + \Delta U \% \times (R_{xMAX} - R_{xMIN}) / 100$$

Die Werte  $R_{xMAX}$  und  $R_{xMIN}$  sind dem System bekannt. Sie stellen das obere Ende und untere Ende des messbaren Widerstandsbereichs dar und werden vom Entwickler festgelegt.

Der Steuereinheit 18 ist nun der Widerstandswert  $R_x$  der als Shunt genutzten Struktur bekannt.

Fließt nun in der laufenden Applikation ein Strom durch diesen Shunt  $R_x$ , so wird der Spannungsabfall über den Strommessverstärker 30, an den A/D-Wandler 32 und die Steuereinheit 18 übertragen. Diese kann nun aus dem Spannungsabfall und dem bekannten Widerstandswert  $R_x$  die Stromaufnahme der Applikation errechnen.

## **ANSPRÜCHE**

1. Elektrische Schaltung zum Treiben einer Last, mit
  - einem von einem Laststrom durchflossenen Transistor (12;14;22),
  - einer Messeinrichtung (30,32) zur Bestimmung des Spannungsabfalls über diesem Transistor (12;14;22),
  - einer Vorrichtung (42) zum Einprägen eines Messstroms in den Transistor (12;14;22) und
  - einer Vorrichtung zur Bestimmung des Widerstandswerts des Transistors (12;14;22) in dessen EIN-Zustand, wobei dieser Widerstandswert zwischen einem bekannten Maximalwert ( $R_{XMAX}$ ) und einem bekannten Minimalwert ( $R_{XMIN}$ ) liegt und die Vorrichtung zur Bestimmung des Widerstandswerts versehen ist mit
    - einer Messbrücke (36), in deren ersten Brückenweig (38) der Transistor (12;14;22) und ein bekannter Referenzwiderstand ( $R_R$ ) geschaltet sind und in deren zweiten Brückenweig (40) drei jeweils bekannte Widerstände ( $R_1, R_2, R_3$ ) geschaltet sind,
    - wobei der erste Brückenweig (38) einen Widerstandsverbindungspunkt ( $K_1$ ) zwischen Referenzwiderstand ( $R_R$ ) und dem Transistor (12;14;22) aufweist und der zweite Brückenweig (40) einen ersten Widerstandsverbindungspunkt ( $K_2$ ) zwischen dem mit dem Transistor (12;14;22) verbundenen ersten Widerstand ( $R_1$ ) und dem zweiten Widerstand ( $R_2$ ) sowie einen zweiten Widerstandsverbindungspunkt ( $K_3$ ) zwischen dem zweiten Widerstand ( $R_2$ ) und dem mit dem Referenzwiderstand verbundenen dritten Widerstand ( $R_3$ ) aufweist und
    - wobei die Werte des Referenzwiderstandes ( $R_R$ ) des ersten Brückenweiges (38) und der drei Widerstände ( $R_1, R_2, R_3$ ) des zweiten Brückenweiges (40) derart gewählt sind, dass (i) das Potential des Widerstandsverbindungspunkts ( $K_1$ ) des ersten Brückenweiges (38) gleich dem Potential des ersten Widerstandsverbindungspunktes ( $K_2$ ) des zweiten Brückenweiges (40) ist, wenn der Transistor (12;14;22) seinen

Minimalwiderstandswert ( $R_{XMIN}$ ) aufweist, und (ii) das Potential des Widerstandsverbindungspunkts ( $K_1$ ) des ersten Brückenweiges (38) gleich dem Potential des zweiten Widerstandsverbindungspunkts ( $K_3$ ) des zweiten Brückenweiges (40) ist, wenn der Transistor (12;14;22) seinen Maximalwiderstandswert ( $R_{XMAX}$ ) aufweist.

2. Elektrische Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Transistor (12;14;22) ein Verpolschutztransistor oder ein die Last (16) schaltender Transistor ist.
3. Elektrische Schaltung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (32,50,52) zur Vermessung der Differenzspannungen zwischen den Widerstandsverbindungspunkten ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ).
4. Elektrische Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch einen Multiplexer (52) zum wahlweisen Weiterleiten einer der Messspannungen an eine Spannungsmesseinrichtung (50).
5. Elektrische Schaltung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Vermessen von Einzelspannungen zwischen jeweils den Widerstandsverbindungspunkten ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ) und einem gemeinsamen Bezugspotential und zur Subtraktion von jeweils zwei gemessenen Einzelspannungen.
6. Elektrische Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch einen A/D-Wandler (32) zur Messung der Spannungen.
7. Elektrische Schaltung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch einen Umschalter (34) am Eingang des A/D-Wandlers (32) zur Nutzung des A/D-Wandlers (32) einerseits für Spannungsmessungen und andererseits für Messungen des Spannungsabfalls über dem Transistor (12;14;22),

dessen Widerstandswert ( $R_x$ ) zur Ermittlung des Laststroms zu bestimmen ist.

8. Elektrische Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch eine Steuereinheit (18) zum Steuern der Vorrichtung (42) zur Einprägung eines Messstroms in den Transistor (12;14;22) und, sofern vorhanden, des Umschalters (34), des A/D-Wandlers (32), des Multiplexers (52) eines Verpolschutz-Transistors und eines Last schaltenden Transistors.
9. Elektrische Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch einen Temperatursensor zur Erfassung der Umgebungstemperatur des Transistors (12;14;22), dessen Widerstandswert ( $R_x$ ) zu bestimmen ist.

## **Zusammenfassung**

### **Elektrische Schaltung zum Treiben einer Last**

Die elektrische Schaltung zum Treiben einer Last ist versehen mit einem von einem Laststrom durchflossenen Transistor (12;14;22), einer Messeinrichtung (30,32) zur Bestimmung des Spannungsabfalls über diesem Transistor (12;14;22), einer Vorrichtung (42) zum Einprägen eines Messstroms in den Transistor (12;14;22) und einer Vorrichtung zur Bestimmung des Widerstandswerts des Transistors (12;14;22) in dessen EIN-Zustand, wobei dieser Widerstandswert zwischen einem bekannten Maximalwert ( $R_{XMAX}$ ) und einem bekannten Minimalwert ( $R_{XMIN}$ ) liegt. Die Vorrichtung zur Bestimmung des Widerstandswerts ist mit einer Messbrücke (36) versehen, in deren ersten Brückenweig (38) der Transistor (12;14;22) und ein bekannter Referenzwiderstand ( $R_R$ ) geschaltet sind und in deren zweiten Brückenweig (40) drei jeweils bekannte Widerstände ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) geschaltet sind. Der erste Brückenweig (38) weist einen Widerstandsverbindungspunkt ( $K_1$ ) zwischen Referenzwiderstand ( $R_R$ ) und dem Transistor (12;14;22) auf und der zweite Brückenweig (40) weist einen ersten Widerstandsverbindungspunkt ( $K_2$ ) zwischen dem mit dem Transistor (12;14;22) verbundenen ersten Widerstand ( $R_1$ ) und dem zweiten Widerstand ( $R_2$ ) sowie einen zweiten Widerstandsverbindungspunkt ( $K_3$ ) zwischen dem zweiten Widerstand ( $R_2$ ) und dem mit dem Referenzwiderstand verbundenen dritten Widerstand ( $R_3$ ) auf. Die Werte des Referenzwiderstandes ( $R_R$ ) des ersten Brückenweiges (38) und der drei Widerstände ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) des zweiten Brückenweiges (40) sind derart gewählt, dass (i) das Potential des Widerstandsverbindungspunkts ( $K_1$ ) des ersten Brückenweiges (38) gleich dem Potential des ersten Widerstandsverbindungspunktes ( $K_2$ ) des zweiten Brückenweiges (40) ist, wenn der Transistor (12;14;22) seinen Minimalwiderstandswert ( $R_{XMIN}$ ) aufweist, und (ii) das Potential des Widerstandsverbindungspunkts ( $K_1$ ) des ersten Brückenweiges (38) gleich dem Potential des zweiten Widerstandsverbindungspunkts ( $K_3$ ) des zweiten Brückenweiges (40) ist,

wenn der Transistor (12;14;22) seinen Maximalwiderstandswert ( $R_{XMAX}$ ) aufweist.

(Fig. 1)